

ACEROS AL MOLIBDENO SINTERIZADOS FG2S CON GRADIENTE FUNCIONAL

Manuel Cisneros Belmonte, José Manuel Ruiz Román, Miguel Sánchez Fernández y Luis E. García Cambronero

Depo. de Ingeniería de Materiales - E.T.S. Ingenieros de Minas y Energía - Universidad Politécnica de Madrid - Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid - manuel.cisneros@upm.es



RESUMEN

Las propiedades que se solicitan a las piezas y productos exigen, la mayoría de las veces, una combinación de materiales que respondan a requerimientos específicos en función de su posición. La fabricación de materiales compuestos y materiales con gradiente funcional proporciona grandes posibilidades de respuesta a las necesidades demandadas, tanto de satisfacción de requerimientos como de reducción de materias primas necesarias. En este sentido, satisfacer las propiedades demandadas, de manera localizada geoméricamente, puede suponer un ahorro de materias primas y de los residuos relacionados en su fabricación.

En el presente estudio de la sinterización a 1120 °C de un compacto de dos aceros de diferentes composiciones (un acero con un 0,3 % C y un 2 % de cobre y un acero al molibdeno con un 0,7 % carbono y un 2 % de cobre) ofrece unas posibilidades muy atractivas de eficiencia, al reducir en el interior la composición que se requiere en la superficie de las piezas.

Se han caracterizado las propiedades mecánicas de este acero sinterizado con gradiente funcional: densidad, variación dimensional, durezas y resistencia mecánica; ilustradas con el análisis de imagen mediante microscopía óptica y electrónica de barrido.

Palabras clave: Aceros sinterizados, gradiente funcional, molibdeno, pulvimetalurgia, propiedades mecánicas y metalografía.

Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es la **reducción de las materias primas demandadas** y la reducción de residuos inherentes a la producción de materias primas críticas, mediante el estudio de la sinterización de aceros con gradiente funcional compactados a capas en matriz.

Otro enfoque paralelo es la mejora de las propiedades de los materiales mediante la incorporación controlada de los materiales, aumentando la eficiencia de las piezas con un gradiente de funciones. También se trata de aumentar las posibilidades de recubrimientos superficiales en las piezas.

Materiales

Las mezclas proporcionan dos tipos de aceros: exterior e interior.

EXTERIOR es el acero al molibdeno que queremos reducir su uso en el corazón de la pieza, donde se alojaría el INTERIOR, sin molibdeno. Las composiciones se pueden ver en la tabla y describen como el acero al molibdeno tiene más carbono que el material destinado al interior de la pieza

Tabla 1. Composición química de los aceros sinterizados resultantes

Material	% C	% Cu	% Mo	% Fe
Acero con Mo: EXTERIOR	0,7	2	1,5	resto
FG2S (50-50)	0,5	2	0,75	resto
Acero sin Mo: INTERIOR	0,3	2	0	resto

Procedimiento experimental

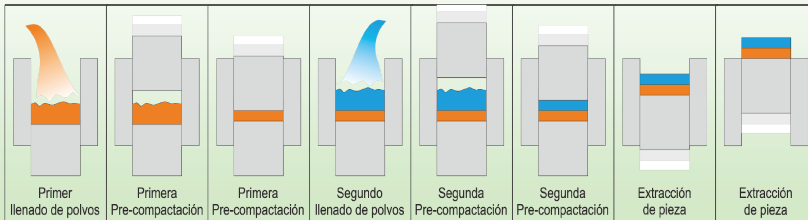


Figura 1.- Procedimiento de compactación de capas en matriz.

Las piezas con gradiente funcional, aquí llamadas FG2S, se conforman mediante la pre-compactación de las diferentes composiciones secuencialmente. A la última pre-compactación le acompaña una compactación a 700 MPa. La composición resultante del compacto obtenido reduce las necesidades de materias primas críticas, como se puede ver en la tabla 1.

Se ha optado por iniciar los estudios sinterizando a 1120 °C durante 30 minutos en atmósfera de N₂-5H₂, buscando aumentar las propiedades mecánicas de estos aceros.

Resultados

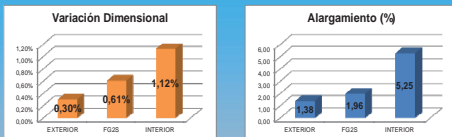


Figura 2.- Variación dimensional en la sinterización y alargamiento en la tracción.

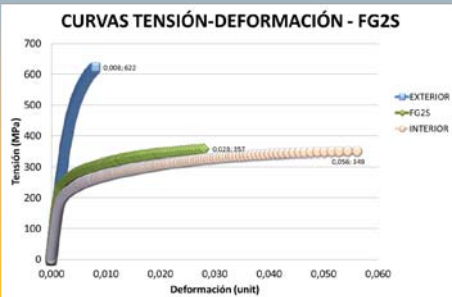


Figura 4.- Ensayo de tracción de los materiales con y sin gradiente funcional.

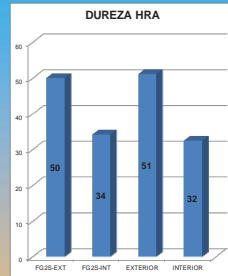


Figura 3.- Resultados de dureza

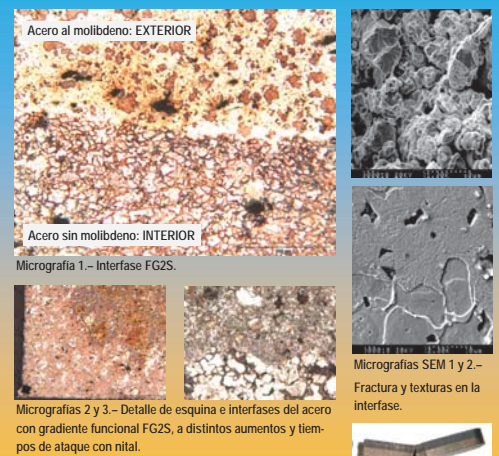
En la figura 2 se observa una combinación de propiedades como: aumento de la tenacidad, aumento del alargamiento cuando se compara el acero al molibdeno (exterior) con el acero FG2S con gradiente funcional.

Desde el punto de vista de mejora de las propiedades superficiales podemos ver, en la figura 3, como se mantienen la dureza de los materiales de partida y se reduce la variación dimensional. En el material con gradiente funcional existe una clara diferencia de durezas entre fases y/o zonas. Además, se reduce la variación dimensional y el alargamiento.

La figura 4 muestra un ensayo de tracción ocurrido entre varios resultados: el material FG2S tiene un comportamiento con resistencias mayores que las de los materiales de partida, representativo de la complejidad de la fabricación de este tipo de materiales.

En la fotografía 1, se observa una unión metalúrgica eficaz y coherente en la interfase; no se ha apreciado separación entre las fases tras realizarse una rotura a flexión.

En la micrografía SEM 1 puede apreciarse una diferencia de comportamiento dúctil-frágil entre las fases.



Micrografía 1.- Interfase FG2S.

Micrografías 2 y 3.- Detalle de esquina e interfases del acero con gradiente funcional FG2S, a distintos aumentos y tiempos de ataque con nital.

Fotografía 1.- Fractura a flexión. Sin evidencias de separación de fases

Conclusiones

La técnica de fabricación de materiales con gradiente funcional mediante compactación en matriz en capas, está demostrada como eficaz para gran variedad de materiales, metálicos y cerámicos.

Empleada en la sinterización de aceros al molibdeno aporta sinergias considerables cuando se desea **aumentar la tenacidad de las piezas y reducir los costes económicos y medioambiental del proceso de fabricación.**

La reducción del molibdeno conserva una unión metalúrgica eficaz en la interfase, sin fisuras.

Esta técnica **permite aumentar las posibilidades de mejora de las propiedades superficiales de las piezas** y de reducción de la variación dimensional mediante conjugación de materiales, en esta ocasión aceros de distinta composición química.

